

전원상태에 따른 단상 이중기능 전력보상기의 개발

박기우, 김말수, 최창호
포스콘

The Development of Single Phase Dual Function Power Compensator(DFPC)
with Source Condition

Ga-Woo Park, Mal-Soo Kim, Chang-Ho Choi
POSCON

Abstract - 본 논문에서는 단상H-bridge구조의 VSC (Voltage Source Converter)를 이용하여 계통전원을 사용하는 부하의 고조파 전류 보상기능과 전원 Back-up 기능을 갖는 부하전력보상기를 보여준다. 이 두 제어 기능은 전원전압의 유무에 따라 APF의 컨버터 동작과 UPS의 인버터로 동작하게 함으로써 기존 UPS에 부하 전류의 고조파 보상이라는 부가적인 이득을 갖는 이중전력보상기(Dual Function Power Compensator)라 할 수 있다. 컨버터 제어는 Battery 충전 동작과 APF동작을 동시에 수행하며, 인버터 제어는 정전시 부하에 전원을 공급하는 UPS로서의 동작을 수행하게 된다. 두가지 동작이 성공적으로 수행되기 위해서는 1.전원전압의 신속한 검출과 판단, 2.컨버터의 Battery 충전, 3.APF동작을 위한 부하전류의 고조파 전류계산, 4. 전원전압의 동기 추종 등이 각각의 동작모드별로 순조롭게 연계동작 되어야 한다. 본 논문에서는 DFPC의 발생배경과 제안된 DFPC 제어모드의 구분을 결정하는 전원전압의 검출방법에 대하여 소개한다. 그리고 제안된 DFPC의 실제 시스템을 제작하여 각각의 동작상황과 성능을 시험하여 그 결과를 보여준다.

따라서 컴퓨터 등과 같은 직류부하를 사용하는 부하기는 다소의 전원변동에도 문제없이 동작할 수 있도록 그림 1의 IEEE Std.446-1987에 기재된 전압허용 범위의 전원장치를 설계 공급하고 있으나, 이는 전원전압의 수 싸이클 내에서만이 대처 가능하므로 그림 2와 같이 수십 사이클 이상의 전원장해에 대해서는 대처가 불가능하다. 따라서 좀더 장시간의 전원장해에 대한 대책으로는 현재 가장 일반적인 방법은 UPS의 설치이다.

1. 서 론

최근 반도체 집적기술의 급속한 향상으로 전기,전자기기 자체의 코스트 다운이 진행됨과 동시에 응용분야도 확대 되었다. 산업과 정보 및 가정에서 이러한 반도체를 적용한 정보화 네트워크산업이 급속히 발전,보급되는 가운데 이들 기기의 이용 에너지원으로서 전기에너지의 사용량 또한 날고 증가하는 추세다.

사회의 이러한 전기기기 보급을 배경으로 전력의 송배전에 대한 버락피해,기타사고등에 기인하는 순간정전,순간전압강하 및 정전등의 전원장해가 연 수회,수십회 정도 발생하여 기기의 정상동작을 방해하는 사례가 증가하고 있어 그 대책에 대한 욕구가 높아지고 있다. 순간정전 및 순간전압강하 대책을 전력공급측에서 완전히 해결하는 일은 경제 합리성 면에서 어려움이 많기 때문에 부하 측면에서 실시하는 것이 바람직하다.

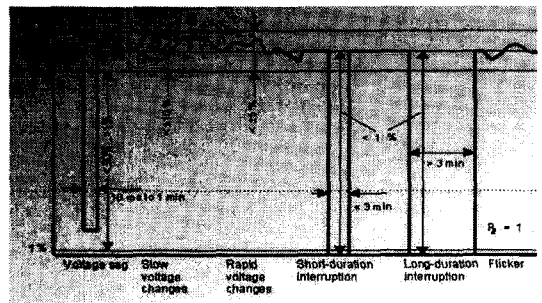


그림 2. 전원 장애의 종류

UPS는 급전방식에 따라 상시인버터 급전방식(On-line)과 상시상용 급전방식(Off-line)이 있다. 상시 인버터 급전방식은 인버터로 부하에 전력을 공급하는 방식으로 입력전원의 상태와는 무관하게 안정된 전원공급이 가능하나, 2중 전력변환 회로에 의한 전력손실이 크게 된다. 한편 상시 상용급전방식은 전력변환회로를 통하지 않고 부하에 전력을 직접공급하는 방식으로 전력손실은 적으나 상용전원 이상시에 전력공급경로를 상용전원에서 인버터로 전환하여야 하며, 그 전환시간만큼의 전력공급이 순간 단전 되어 버린다.

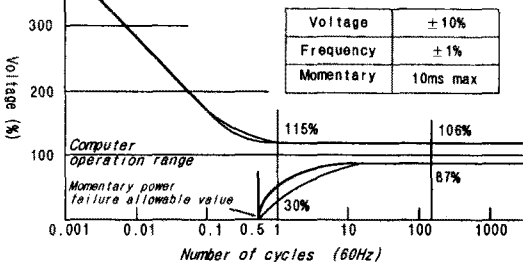


그림 1. 컴퓨터의 전원변동 허용범위

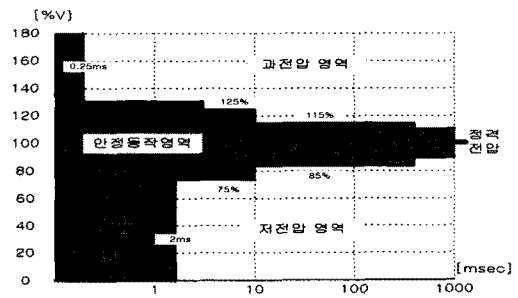


그림 3. 부하기기의 안정동작영역

따라서 상시 상용방식의 UPS에서도 정전감시에 따른

인버터 동작으로의 변환 및 절체시간이 그림 1에 표시된 안전동작범위를 충분히 만족한다면 순간정전에 의한 부하의 문제는 없게 된다.

그림 3은 순시전압변동에 의한 부하기의 안전동작영역을 순시저전압과 순시저전압의 시간 범위에 대한 관계로 정의한 것이다. 이는 상시상용급전방식(Off-line) UPS에서 부하에 영향을 주지 않는 범위(안전동작영역) 안에 인버터로의 운전이 이루어지게 하면 상시 인버터급전방식(On-line)의 UPS보다 효율적으로 사용할 수 있음을 의미한다.

더불어 상용의 전원으로부터 Battery 충전뿐만 아니라 부하에서 발생하는 고조파 및 역률 보상을 실시간으로 보상하는 고조파 보상기능을 갖게 하여 입력 역률을 개선하는 효과가 있다.

2. LPC-UPS의 구조 및 동작모드

2.1 전력시스템 구조

DFPC 시스템의 기본구조는 그림 4와 같다. 전원-부하 계통에 L-C필터와 컨버터 및 배터리로 구성된 전력 변환부가 병렬구조로 연계되어 있다. 컨버터는 전력용 반도체 소자의 H-bridge를 구성하여 AC/DC 또는 DC/AC의 정·역 변환이 가능하며, LC필터의 L은AC/DC 변환시 승압초과동작을 위한 직류 인덕터로 작용하고, DC/AC동작시는 C와 함께 구형파 PWM 전압파형으로부터 정현파를 얻기위한 저역필터로 동작한다.

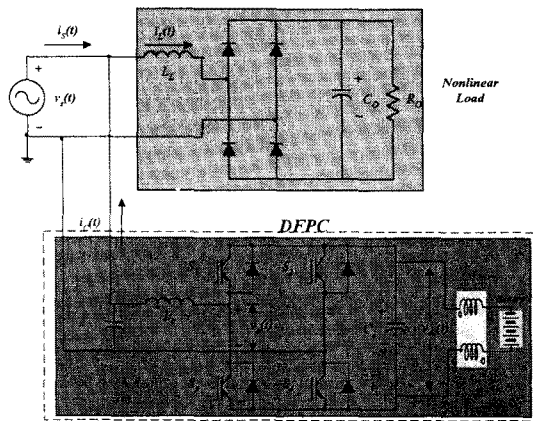


그림 4. DFPC의 전력시스템 구조

2.2 동작모드

DFPC 전력변환장치의 동작 기능은 다음과 같이 구분된다. 1) AC/DC전력변환: 상용전원계통으로부터의 전력을 배터리에 공급하기 위하여 승압형 컨버터로 정류 동작을 수행한다. 2) DC/AC전력변환: 부하에 교류전원을 공급하기 위하여 배터리의 직류전압으로부터 일정전압과 일정주파수 형태의 교류전력으로 변환하기 위한 CVCF-인버터 동작을 수행한다. 3) 고조파 및 무효전력의 보상: 비선형 부하에서 발생하는 고조파 및 무효전력을 검출하여 상용전원계통에는 전압위상과 동상인 정현파 전류가 흐르도록 보상전류를 주입하는 APF동작이 이루어진다. 이상의 개별적 기능이 상용교류전원의 상태에 따라 정상전원조건에서는 1,3)이 복합적으로 이루어지는 컨버터모드로 동작하고, 비정상 전원전압 조건하에서는 2)의 인버터 모드로 동작한다.

2.2.1 컨버터 모드

교류전원계통이 정상인 경우에는 DFPC는 컨버터 모드로 동작한다. 본 구간모드에서 부하측이 필요로 하는 전력은 교류전원으로부터 직접 공급받는데 비선형 부하

계통에서 발생하는 고조파 및 무효전력이 교류 전원측에 유입되므로 이것에 의한 교류 전원측 장애를 억제하기 위하여 주 컨버터에 능동필터 기능을 부여한다. 따라서, 부하전류는 전압과 동상의 유효전류 성분과 고조파 및 무효전력의 발생원인 무효전류성분으로 분류되어야 한다. 분리된 무효전류 성분은 컨버터의 교류 입력측 전류와 같도록 제어 한다. 그러므로 교류 전원측에는 전압과 동상이고 정현파인 유효전류 성분만 흐르도록 된다.

그림 5는 컨버팅모드에서 전력의 흐름을 보여주는데, 컨버터의 능동필터기능으로 인하여 부하측에서 요구하는 유효전력(P Power)과 무효전력(Q Power)이 분리되어 교류전원과 컨버터가 독립적으로 공급함을 보여준다. 물론 컨버터의 안정된 전류제어 동작을 확보하기 위하여 컨버터 직류측 전압을 일정하게 유지하여야 하므로 컨버터는 충전모드 동작에 의하여 배터리 손실에 기인하는 직류전압 강하를 보상하기 위한 유효전력(B Power)의 공급이 동시에 이루어진다.

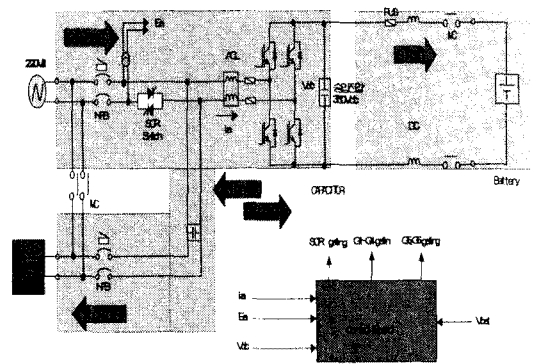


그림 5. 컨버터/APF 동작모드

2.2.2 인버터 모드

계통전원의 전압 또는 주파수가 불안정하거나 정전시에는 DFPC가 그림 6과 같은 전력의 흐름을 갖는 인버터 모드로 동작한다. 본 모드에서는 부하측에 정전압/정주파수의 안정된 전압을 공급하기 위하여 컨버터를 CVCF인버터로 동작시키며 교류 출력측 전압을 제어 한다. 따라서, 부하에서 필요로 하는 전력(P,Q Power)은 배터리가 공급하게 된다. 이 경우에 계통이 정상 조건으로 환원되면 교류 출력측으로 무순단 절체를 행하여야 하며, 절체에 따르는 전압충격을 최소화하기 위하여 교류 전원측 전압 주파수와 동기되어 인버터가 운전되도록 동기 제어를 수행 한다.

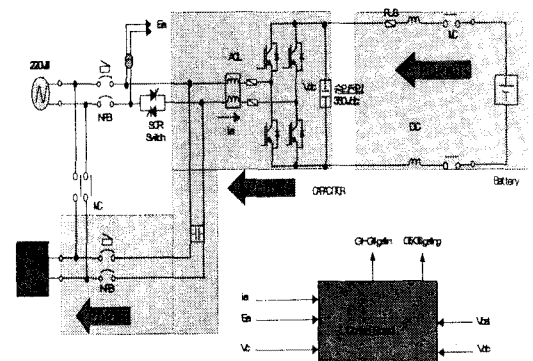


그림 6. 인버터 동작모드

2.2.3 바이패스 모드

계통전원의 전압이 정상이나 DFPC의 고장 또는 유지 보수시 부하에 전력을 차단하지 않고 연속적으로 공급하기 위한 모드이다. 그림 7에 By-pass 동작의 전력흐름을 보여주고 있다.

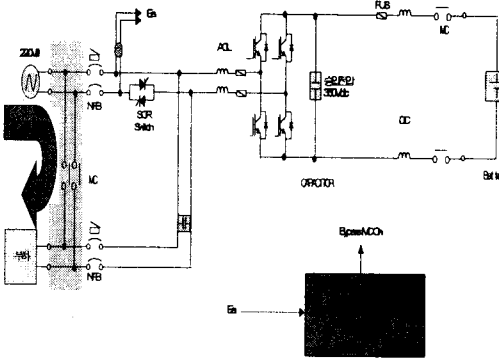


그림 7. By-pass 동작모드

2.3 전원상태별 모드 결정

계통전압 이상에 대하여 안정된 부하동작을 위해서는 그림 3에서 보여주는 바와 같이 전원전압이 75%이하와 125%이상은 2msec이내에, 85%이하와 115%이상은 10msec이내, 90%이하와 110%이상은 500msec이내에 전원이 회복되지 않으면 문제가 된다.

따라서 전원전압 변동이 10%이상이면 인버터에 의한 부하로의 전력공급이 이루어 질 수 있도록 설정하면 되나 다음과 같은 문제를 야기한다. 즉, 전원전압의 변동에 민감하게 자주 인버터를 동작시킬 경우 Battery의 충방전이 비번하게 되어 Battery 수명에 영향을 주게 된다. 따라서 그림 3에서와 같이 전원변동폭에 대한 시간 항을 부하의 안정동작영역에서 이루어 질 수 있도록 동작모드의 전이를 가급적 적게 하여야 한다. 이와 같은 조건하에서 전원상태의 모드결정을 할 수 있도록 그림 8에 설정범위에 대한 도표를 나타내었다.

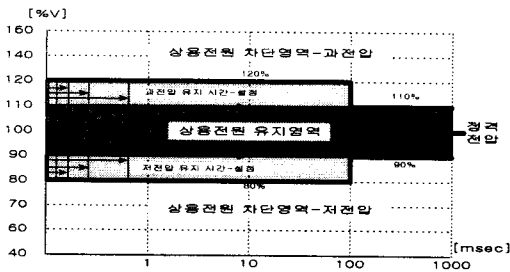


그림 8. 정전영역 설정범위

3. DFPC의 운전 시퀀스 및 동기추종

3.1 운전 시퀀스 구조

DFPC의 전체 동작 흐름도를 하나의 그래프로 나타낸 것이 그림 9이다. 모드 0에서 입력 스위치의 투입으로 시작하여 전원전압의 상태와 운전 스위치의 동작명령에 의해 각각의 동작모드가 운전된다. 부하 고조파 보상모드(모드7)까지의 흐름도는 1-3-5-7순으로 동작되며, 정전으로 인한 인버터 동작모드(모드6)는 입력 스위치가 On되어 있는 한 전원전압의 감시결과에 따라 어느 영역에서든 갈 수 있다.

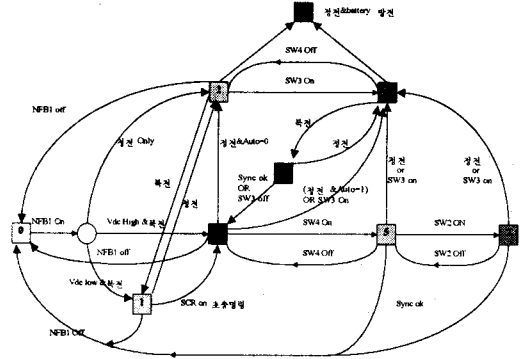


그림 9. DFPC의 동작 시퀀스

그림 9에서 보여준 동작시퀀스의 조건은 앞에서 설명된 바와 같이 전원전압의 상태에 따라 자동적으로 전이되는 것을 우선으로 한다. 그러나 사용자의 요구에 따라 각각의 동작모드도 운전되어야 하므로 명령스위치 조작에 의해 수동으로 전이 될 수 있도록 하였다.

모드	동작 상태	조건	전이 가능 모드
0	입력 스위치차단	입력 NFB차단	0->1: 직류전압 low 0->3: 직류전압 정상
1	초기충전모드 동작 중	Vdc low	1->0: 입력 NFB차단 1->2: 정전 1->3: 직류전압 초충완료
2	인버터 동작 대기 중	정전발생시	2->1: 복전 2->4: battery 완전 방전 2->6: 인버터 기동
3	컨버터 동작 대기 중	입력전원 정상	3->0: 입력 NFB차단 3->2: 정전대기 3->5: 컨버터 기동 3->6: 정전시 인버터기동
4	Battery 완전 방전 & 정전 중	Battery 완전방전 정전	4->1: 복전
5	Battery 부동충전	컨버터 기동 입력전원 정상	5->0: 입력 NFB차단 5->3: 컨버터 정지 5->6: 정전시 인버터기동 5->7: APF 동작 기동 5->9: 균등 충전
6	인버터 동작 중	인버터 기동	6->2: 인버터 정지 6->4: battery 완전 방전 6->8: 복전시 동기화시작
7	Battery 충전 & 고조파 전류 보상중	APF기동	7->0: 입력 NFB차단 7->6: 정전 7->5: 부동 충전 7->9: 균등 충전
8	입력전원 동기시도 중		8->3: 동기 정상
9	Battery 균등충전	컨버터 기동 입력전원 정상	9->0: 입력 NFB차단 9->3: 컨버터 정지 9->6: 정전시 인버터기동 9->7: APF 동작 기동 9->5: 부동 충전

표 2. 운전 시퀀스의 기능표

3.2 정전 검출과 동기추종 방법

DFPC의 주요동작인 정전보상기능은 전원전압의 정전 검출능력에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 따라서 전원전압의 효과적인 정전 검출알고리즘이 DFPC동작에 필수적이다. 본 논문에서는 전원과 동기된 위상각 검출과 전원전압의 크기를 동시에 검출하는 방법을 특별한 회로의 추가 없이 디지털 제어기내부에서 발생, 검출 하도록 하였다.

3.2.1 동기 추종과 정전 검출기

전원전압의 위상검출방법은 3상평형회로에 사용되는 d-q동기좌표이론을 근거로 하였다. 즉 3상회로의 전원위

상을 직교된 d-q축의 성분으로 재 구성하여 동기 회전할 때 직교된 두 성분의 값은 전원전압의 크기와 위상정보를 의미한다는 기본 원리이다. 다만 단상의 경우 직교 성분이 존재하지 않으므로 1상의 정보에 대하여 위상 Shift를 한 뒤 적용하였다. 적용된 방법의 블록도를 그림 10에 나타내었다. 전원전압의 크기는 q축전압의 크기가 되며 위상차이 정도는 d축이 된다. 전원전압이 존재하지 않을 시는 자체60Hz 성분을 샘플링 주파수에 맞게 발생 되도록 하였다. 이는 인버터 동작시 기준 위상각을 연속적으로 발생시키게 된다.

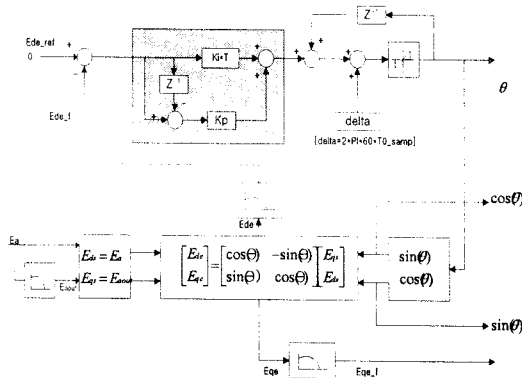


그림 10. 전원동기추종 블록도.

3.2.2 ALL-Pass Filter

위에서 언급한 d-q동기 좌표방식을 단상에 적용하기 위해 입력전압위상과 90위상 차이를 이루는 신호가 필요하다. 입력전압과 크기는 동일하며 위상만 90도 지상시키는 All-pass 필터를 디지털제어기내에서 구현하여 사용하였다. All-pass 필터의 전달함수는 식 (1)와 같으며 적용된 디지털 변환식은 식(2)와 같다.

$$T(s) = \frac{a}{s+a} \quad (1)$$

$$Vo(n) = \frac{a \cdot T}{1+T \cdot \omega} Vi(n) + \frac{Vo(n-1)}{1+T \cdot \omega} \quad (2)$$

4. 제어 시스템 구성 및 실험결과

4.1 전력 시스템 구성

전력회로는 단상 IGBT Stack과 입력 리액터, 입력측 교류필터용 커패시터, 출력측 전회 커패시터 및 입력 측 전원차단용 스위치인 SCR등으로 구성되며 실험에 사용된 각각의 사양은 표 4-1과 같다.

정격입력전압	110V	직류 전압	250V
정격전류	23Arms	Battry 충전전류	5A
입력 리액터	2mH	부하	Diode
필터 커패시터	30uF	스위칭 주파수	15.36kHz

표 3. 전력회로의 사양

4.2 디지털 제어기 H/W 구성

제어보드는 16bit DSP인 TI(TexasInstruments)사의 TMS320F240을 주제어기로 사용하였으며 주변회로로서

Data 메모리, Analog입력신호 처리부, Isolation Digital 입력/출력부, PWM신호 출력부,직렬 통신 Drive와 과전압,과전류 검출부 등으로 구성하였다. 제어보드의 블록도를 그림 11에 나타내었다.

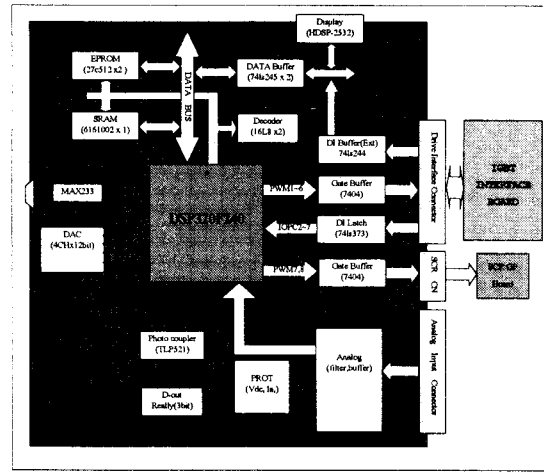


그림 11. 디지털 제어기의 H/W구성도.

4.3 소프트웨어 구성

시스템 소프트웨어의 구성은 크게 주 제어 프로그램과 운영프로그램 및 고장처리 프로그램으로 구성하였다. 주 제어 프로그램은 DSP내부의 Timer Interrupt 0에 의해 130.3usec 주기로 실행되며, 고장 처리 프로그램은 외부 인터럽트와 내부 call에 의해 수행된다. 주 제어 프로그램은 인버터제어와 컨버터 제어 및 SCR제어를 수행하며 이에 필요한 ADC scale 변환 및 gating pulse의 계산을 수행하며 입력전원의 정전 유무를 판단하고, 소프트웨어 OC, OV 고장을 검출한다.

기타 운영 프로그램은 디지털 입출력 신호의 처리와 통신 및 Display등을 담당한다. 위의 모든 프로그램은 수행시간의 단축을 위하여 DSP 내부 메모리에서 수행한다. 스위칭 주파수에 의한 소음영향을 줄이기위해 PWM주파수는 제어주기의 1/2인 약 15kHz로 하였다.

4.4 실험 결과

DFPC의 전체적인 성능을 확인하기위하여 수행된 내용은 다음과 같다. 1.컨버터동작에의한 Battery 충전제어 즉,직류전압제어와 입력전류 역률1제어, 2.충전된 Battery전원을 이용하여 인버터 동작의 수행, 3.부하의 역률 및 고조파 보상을위한 APF동작의 수행, 4.상용전원 이상시 검출시간과 SCR절체 및 제어모드의 순간 전이등을 수행하였다. 그림 12는 AFP모드 동작시비선형부하의 보상전류 계산결과 보여준다. 그림 13은 그림 12에서 계산된 보상전류 기준치를 실제 보상기에서 수행되는 파형을 보여준다. 그림의 앞부분은 보상전 컨버터동작이며 중간지점에서부터 보상동작을 수행함을 보여준다. 그림 14는 AFP모드 동작중 정전으로 인하여 인버터 모드로 동작되는 것을 보여준다. 그림의 중간부분에서 정전으로 인하여 상용전원이 사라진 뒤에도 부하에는 연속적으로 전원이 공급되는 것을 볼 수있다.

그림 15는 반대의 경우로 인버터 동작중 상용전원 복전에 의하여 DFPC가 인버터 모드에서 컨버터 모드로의 바뀜을 볼 수 있다. 물론 인버터 출력 주파수의 위상은 상용전원에 동기된 뒤 절체가 이루어짐을 알 수 있다.

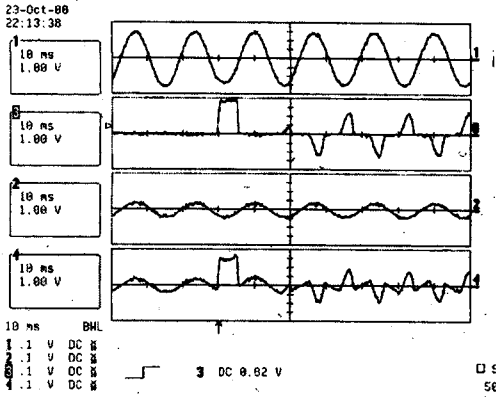


그림 12. 부하보상전류 기준치 계산결과
CH1:전원입력 전압, CH3:실제 부하전류
CH2:DFPC입력단 전류, CH4:보상 전류 기준치

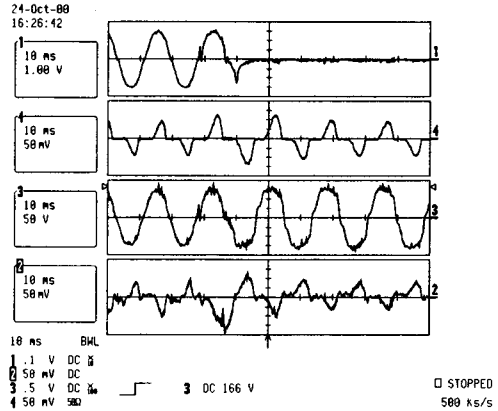


그림 14. AFP모드에서 인버터모드로의 동작
CH1:상용전원 전압, CH4:부하입력단 전류
CH3:부하입력단 전압,CH2:DFPC 입력단 전류

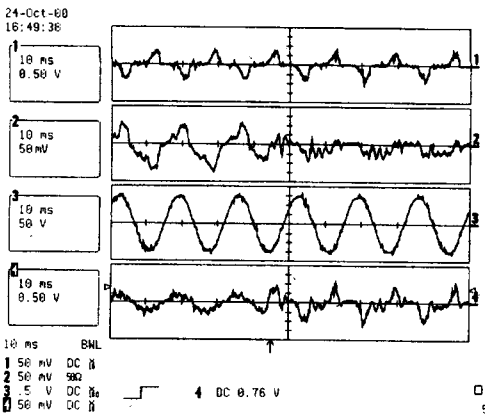


그림 13. APF동작 전후 파형
CH1:부하전류, CH2:전원단 전류(보상전/후)
CH3:전원단 전압, CH4:DFPC입력단 전류

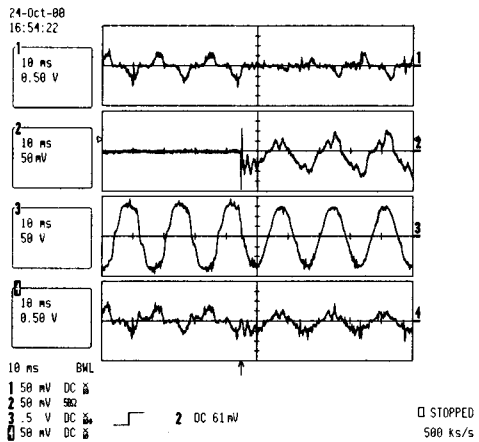


그림 15.인버터모드에서 컨버터모드로의 변환
CH1:부하전류, CH2:상용전원전류
CH3:부하입력단 전압, CH4:DFPC입력단 전류

5. 결 론

본 논문에서는 종래의 컨버터와 인버터가 종속 접속되어 운전되는 On-line UPS에 비해 비용이 저렴하고 에너지 변환 효율이 우수한 Off-line UPS에 APF제어 기능을 추가함으로써 전압과 전류의 보상기능을 갖는 DFPC시스템의 기능과 성능을 보여 주었다.

전력산업 기기의 에너지 효율 향상은 앞으로의 추세임을 감안 할 때 하나의 전력회로를 이용하여 부하에 안정된 전압보상(공급)은 시장의 요구에도 적합할뿐더러 고조파 역률 까지도 보상할 수 있다는 것은 더욱 효과적인 에너지 절약이라 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1]Mohan,N,.et. al."Standby power supply with load current harmonics neutralizer", in Conf.Rec., EPE91 ,pp.3 (140) -3(142), 1991
- [2]Eric Persson rt.al,"Adaptive Tolerance-band Current of Standby Power Supply Provides Load-Current Harmonics Neutralization",in Conf.Rec.,PESC'92,vol.1,pp.320-326,1992.
- [3]V.B.Bhavaraju et.al,"A Fast Active Power Filter to Correct Line Voltage Sags",IEEE Trans.IE,vol.41,No.3,June pp.333-338,1994.
- [4]Hurng-Liahng,J et.al,"New Parallel Processing UPS With The Performance of Harmonic and Reactive Power Compensation",in Conf.Rec.,PESC'94,vol.2,pp.1443-1450,1994.
- [5]J.H.Choi and J.H.Kim,"A Bi-directional UPS with the Performance of Harmonic and Reactive Power Compensation",IEEE Power Electronics Specialists Conference Records.,pp.323-328,1997.